

**М.В. Красота, доц., канд. техн. наук,**  
**І.В. Шепеленко, В.О. Дубовик, кандидати техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Визначення геометричних параметрів профільного електроду для контактного наварювання порошків

В статті наведено теоретичні дослідження, пов'язані з визначенням геометричних параметрів робочої частини електродів, що забезпечують рівномірне ущільнення порошкового матеріалу при контактному наварюванні порошків.

**контактне наварювання, порошковий матеріал, електрод**

При нанесенні покриття контактним наварюванням порошків використовуються контактні зварювальні машини: шовні - у випадку наварювання на плоскі та циліндричні поверхні із значною площею поверхні, точкові – при наварюванні порошку на поверхні малої площі.

Найбільш відповідальною частиною контактних машин, що безпосередньо приймає участь у процесі наварювання є електрод [2, 4, 5]. При наварюванні на шовних машинах використовуються електроди-ролики, на точкових - стержневі електроди.

Електрод є інструментом, що здійснює безпосередній контакт машини з металевим порошком і деталлю при контактному наварюванні порошкових покриттів, і визначає умови формування металопокриття.

Електроди в процесі наварювання виконують наступні функції: притискають порошок до поверхні деталі, підводять струм, відводять тепло, переміщують деталі (при наварюванні порошку роликом). Форма і розміри робочої поверхні, що контактує при електроконтактному наварюванні, і вся конструкція електродів в цілому мають значний вплив на якість покриття і продуктивність процесу.

Метою даної роботи є визначення залежностей для розрахунку геометричних параметрів профільних електродів для контактного наварювання порошків, які б забезпечували рівномірне ущільнення порошку.

Як було з'ясовано в роботі [7], при контактному наварюванні тиск (напруження) по ширині формуючого елемента (електроду) розподілений нерівномірно.

Ширина смуги порошкової формовки з недостатнім ущільненням була визначена в роботі [1]

$$\Delta b = \left[ \frac{1}{2} h_{\text{л}} + D(1 - \cos \alpha_p) \right] \operatorname{tg} \beta_{\text{ск}}, \quad (1)$$

де  $D$  – діаметр електроду-ролика;

$\beta_{\text{ск}}$  - кут нахилу ліній ковзання порошку.

$h_{\text{л}}$  – товщина сформованого шару;

З приведеного рівняння видно, що зменшити ширину смуги з пониженою щільністю можливо збільшуючи кут захвату  $\alpha_p$ . Кут захвату, як відомо, залежить від діаметру електроду [1, 3].

В роботі [8] встановлено, що найбільш доцільним способом зрівноваження тиску, а отже і щільності є зміна схеми ущільнення порошку шляхом зміни геометрії контактної поверхні електроду. Поступово збільшуючи діаметр електроду від центральної зони до периферії, можливо тим самим збільшити кут захвату і підвищити

інтенсивність ущільнення на периферійних ділянках. Конфігурація лінії контакту такого електроду повинна перешкоджати руху частинок порошкового матеріалу в напрямку, перпендикулярному руху електроду. Було запропоновано профіль електроду. Схематично, електрод з профільною контактною поверхнею та процес нанесення покриття з його використанням має вигляд рис. 1.

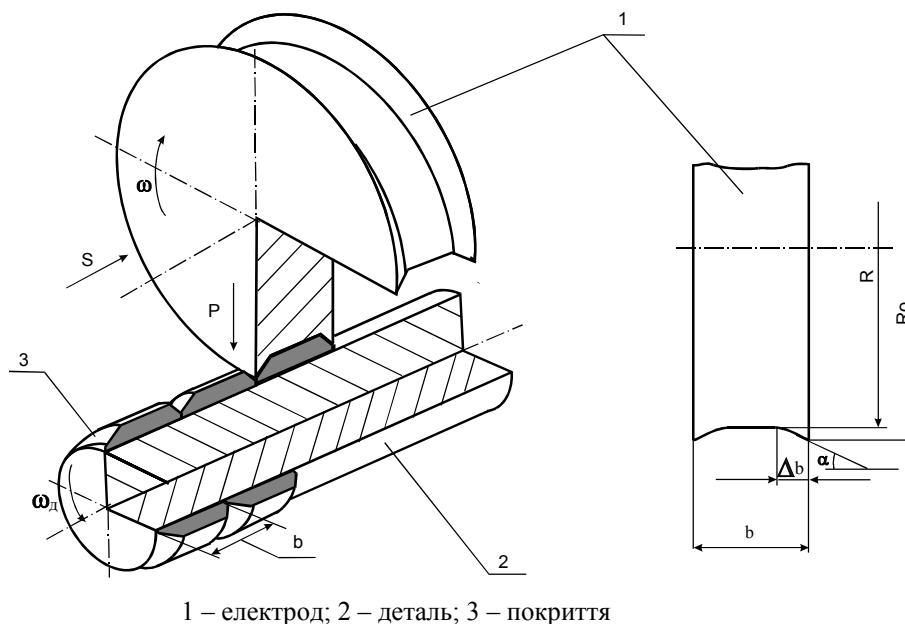


Рисунок 1 - Схема наварювання покриття електродом з профільною робочою частиною

Отже, при розрахунку геометричних параметрів формуючого елементу необхідно визначити таке значення кута  $\alpha$  (кут нахилу твірної профільної частини електроду), яке б забезпечувало гальмування елементу порошкового матеріалу, що взаємодіє з контактною поверхнею ролика в процесі наварювання. Схема зусиль, що діє на цей елемент зображена на рис. 2.

На рис. 2  $f\sigma_r F_\alpha \cos \alpha$  - сила тертя елементу, що перешкоджає його руху вздовж осі ролика ( $f$  – коефіцієнт тертя порошку,  $\sigma$ ,  $\tau$  - нормальні та дотичні напруження,  $\delta$  - ширина елементарної площинки).

Сума проекцій всіх сил на вісь  $z$  може бути записана в наступному вигляді

$$\sum(z) = -\sigma_z F_\alpha \sin \alpha + f\sigma_r F_\alpha \cos \alpha + \sigma_\alpha F_\alpha \sin \alpha - \tau_\alpha F_\alpha \cos \alpha = 0. \quad (2)$$

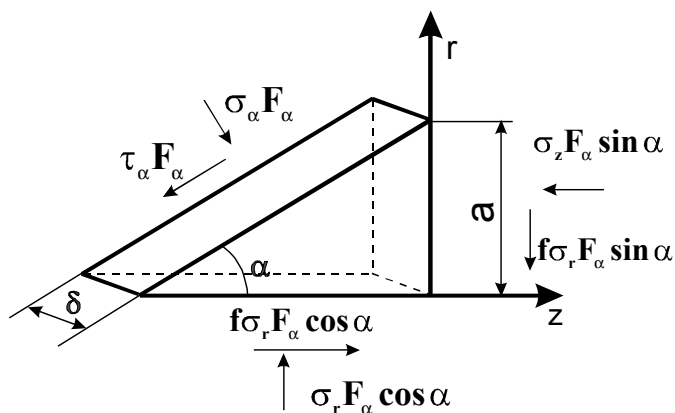


Рисунок 2 - Схема зусиль, що діє на елементарну площинку на периферійній ділянці.

Відповідно, сума проекцій всіх сил на вісь  $r$  може бути записана в наступному вигляді

$$\sum(r) = \sigma_r F_\alpha \cos \alpha - f \sigma_r F_\alpha \sin \alpha - \sigma_\alpha F_\alpha \cos \alpha - \tau_\alpha F_\alpha \sin \alpha = 0. \quad (3)$$

Після спрощення вирази можуть бути представлені в наступному вигляді:

$$\sigma_z \sin \alpha - f \sigma_r \cos \alpha = \sigma_\alpha \sin \alpha - \tau_\alpha \cos \alpha = 0;$$

$$\sigma_r \cos \alpha - f \sigma_r \sin \alpha = \sigma_\alpha \sin \alpha - \tau_\alpha \sin \alpha = 0. \quad (4)$$

Очевидно, що для подальших розрахунків необхідно використовувати наступні співвідношення  $\sigma_z = \xi \sigma_r$ ,  $\tau_\alpha = f \sigma_\alpha$ , де  $\xi$  – коефіцієнт бокового тиску порошку.

З урахуванням співвідношень рівняння рівноваги можуть бути представлені в наступному вигляді

$$\sigma_r (\xi \sin \alpha - f \cos \alpha) = \sigma_\alpha (\sin \alpha - f \cos \alpha). \quad (5)$$

Розділивши ліві та праві частини виразів отримаємо

$$\frac{\xi \tan \alpha - f}{1 - f \tan \alpha} = \frac{\tan \alpha - f}{1 + f \tan \alpha}. \quad (6)$$

Вирішивши вираз відносно  $\tan$ , знаходимо

$$\tan \alpha = \frac{1 - \xi + 2f^2}{(1 - \xi)f}. \quad (7)$$

Вираз (7) дозволяє визначити величину кута  $\alpha$ , в залежності від матеріалу порошку

$$\alpha = \arctg \frac{1 - \xi + 2f^2}{(1 - \xi)f}. \quad (8)$$

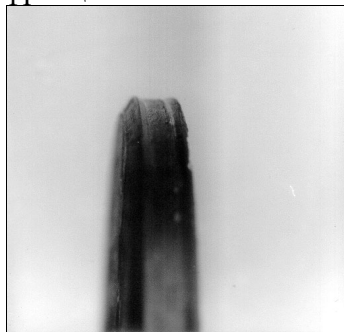
Проаналізувавши вираз (8), можливо відмітити, що із зменшенням коефіцієнту тертя та збільшенням коефіцієнту бокового тиску, величина кута  $\alpha$  зростає.

Отже, при проектуванні та виготовленні електроду для контактного наварювання слід враховувати матеріал порошку, шорсткість поверхні, розмір та форму частинок тощо.

Ширина електроду, на якій він повинен мати профіль може бути розрахована за формулою (1) і дорівнюватиме ширині смуги покриття з нерівномірними властивостями.

Аналогічно виконується розрахунок для стержневих електродів точкових контактних зварювальних машин.

За розрахунками були виготовлені електроди (рис. 3) для випадку наварювання покриття на циліндричні поверхні з використання порошку на основі заліза з боридною оболонкою фракції 60...100 мкм.



а)



б)

а) роликового (ширина перерізу  $b=8$  мм, ширина профілю  $\Delta b=1,8$  мм, кут нахилу профільної поверхні  $\alpha=18^\circ$ ); б) точковий ( $b=16$  мм;  $\Delta b=5,3$  мм;  $\alpha=14,5^\circ$ ).

Рисунок 2 - Контактні частини електродів

За результатами проведених досліджень можливо зробити наступні висновки. Геометричні параметри робочої частини профільного електроду для контактного наварювання порошку залежать від властивостей матеріалу, що наварюється. Зокрема, кут нахилу профільної частини електроду залежить від коефіцієнту тертя, що визначається формою та матеріалом частинок, а також коефіцієнтом бокового тиску, який залежить від гранулометричного складу порошку. Ширина зони з нерівномірним ущільненням визначається кутом захвату та діаметром електрода-ролика.

## Список літератури

1. Степаненко А.В. Непрерывное формирование металлических порошков и гранул. – Минск: Наука и техника, 1980. – 256 с.
2. Кочергин К.А. Контактная сварка. – Л: Машиностроение, 1987. – 240 с.
3. Ярошевич В.К., Генкин Я.С. и др. Электроконтактное упрочнение. – Минск: Наука и техника, 1982. - 256 с.
4. Кутковский С.И. Электроды контактных электросварочных машин. – М.-Л.:Машиностроение., 1974. - 110 с.
5. Слиозберг С.К. Электроды для контактной сварки. – Л.: Машиностроение, 1972. – 96 с.
6. Дорожкин Н.Н. Упрочнение и восстановление деталей машин металлическими порошками. – Минск: наука и техника, 1975,- 152 с.
7. М.В.Красота, І.М. Соколенко, І.В. Шепеленко. Теоретико-експериментальні дослідження параметрів електроконтактного наварювання порошків//Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. КДТУ.– 2004. Вип. 34, 1, с. 225.
8. Л.А. Лопата. М.В. Красота. Расчет температурных полей при нанесении покрытий способом электроконтактного припекания на наружные цилиндрические поверхности деталей// Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць ХДПУ. – Харків , 2000 – Вип. 1 – С. 172-176.

В статье приведены теоретические исследования, связанные с определением геометрических параметров рабочей части электродов, которая обеспечивает равномерное уплотнение порошкового материала при контактной наварке порошков.

In the article the theoretical researches, related to determination of geometrical parameters of working part of electrodes, that provide the even compression of powder-like material at the contact welding of powders on, are resulted.